FUNCION DESTOXIFICADORA DE SULFHIDRICO DE LA COMUNIDAD FOTOTROFICA METALINETICA DE LA LAGUNA DEL VILAR (BANYOLES)

David BRUGADA ^a y Emilio MONTESINOS ^b

(a) Laboratori de Limnologia de Banyoles - Museu Darder, Plaça dels Estudis 2, Banyoles 17820 (Girona).

(b) Departament d'Agricultura de l'Escola Universitària Politècnica de Girona-UPC (Girona)

Palabras clave: destoxificación, oxidación, meromixis

SUMMARY

ROLE OF PHOTOTROPHIC MICROORGANISMS AS DETOXIFIERS OF SULFIDE IN LAKE VILAR (BANYOLES, SPAIN).

Key words: detoxification, oxidation, meromixis

The species composition and the activity of sulfide oxidation of the metalimnetic phototrophic community in Lake Vilar have been studied during summer stratification. The layer of phototrophic microorganisms acts as a biological barrier against the diffusion of the sulfide produced in the monimolimnion.

The community was mainly composed by Cryptomonas and purple phototrophic sulfur bacteria (Chromatium). The global rate of sulfide oxidation accounted for 974 mmol H₂S/day. The activity of Cryptomonas (photosynthetic oxygen production) was shown to be the most important process involved in the oxidation of sulfide 57 % of the total (526 mol H₂S/day). The anaerobic photosynthesis performed by Chromatium accounted for the 47 % (381 mol H₂S/day). The remaining 4 % was presumably due to the activity of chemolithotrophic bacteria. On the other hand, indirect estimates of sulfide production indicates that sulfide was mainly produced in the monimolimnion and only a small amount was generated at the anaerobic sediment.

INTRODUCCION

La laguna del Vilar (Banyoles) es de carácter meromítico y presenta un monimolimnion que raramente se mezcla con el resto de la laguna. Este aislamiento provoca la anaerobiosis del mismo y la presencia en él de sulfhídrico. El sulfhídrico se debe a la actividad de bacterias heterotróficas reductoras de sulfato y, su producción, se halla más limitada por la disponibilidad de ácidos orgánicos de cadena sencilla que por la concentración de sulfatos. Desde 1971 se ha venido observando un acusado déficit de oxígeno y un aumento de la zona anaeróbica, especialmente durante la estratificación estival del mixolimnion (Abellà 1980, Guerrero et al., 1980). Estas condiciones suponen un grave perjuicio para la vida aeróbica que se desarrolla en las capas más superficiales. Por otra parte, es frecuente observar el desarrollo de comunidades fototróficas en la quimioclina e integradas, mayoritariamente, por bacterias fototróficas del azufre y criptofíceas (García de Emiliani 1973, Montesinos et al., 1983). A partir del año 1984, y a finales de verano, se viene observando la formación de una fina película de azufre, de color blanquecino, que recubre la casi totalidad de la superficie de la laguna.

El objetivo de este trabajo ha sido el de cuantificar la actividad de oxidación, tanto biológica como química, en la interfase entre la zona aeróbica y anaeróbica, donde se desarrolla la comunidad fototrófica. Asimismo, se pretende evaluar la posible función de dicha comunidad como barrera a la difusión de sulfhídrico producido en el monilímnion y sedimento anaeróbico.

MATERIAL Y METODOS

Las muestras se tomaban durante el mediodía solar después de terminar la situación de la comunidad fototrófica con un turbidímetro. Para el muestreo se utilizaba una bomba (Wilcox CF modificada) alimentada por un acumulador de 12 volt y conectada, por un tubo de polivinil, a un muestreador de doble cono que minimizaba la alteración de los gradientes verticales y permitía una toma de muestras muy precisa.

La conductividad y temperatura del agua se obtenían mediante un conductímetro YSI 33-STS (Yellow Springs Instruments). La penetración de la luz se determinaba con un medidor de irradiancia cuántica (Crump Radiometer 570). El oxígeno se valoraba por medio de un medidor de oxígeno (Yellow Springs Instruments) y por el método titrimétrico de Winkler modificado (Ingvorsen & Jorgensen, 1979).

El sulfhídrico se determinaba como ión sulfuro según se describe en Van Gernerden et al., (1985). La concentración de polisulfuros se obtenía tal y como exponen Jorgensen et al. (1979). El azufre se valoraba por cianolisis alcalina (Bartlett & Skoog, 1954) y el tiosulfato según Steinmetz & Fischer (1982). La concentración de sulfato se determinaba según Tabatabai (1974).

El recuento directo de microorganismos se realizaba sobre filtros Nucleopore de 0,2 μm de poro según Zimmermann & Meyer-Reil (1974) usando un microscopio Olympus BH a 1250x. Se realizaba un análisis estadístico de 30 campos escogidos al azar. La biomasa se calculó a partir de la concentración y del volumen de los diferentes tipos morfológicos de los microorganismos (Sorokin & Kadota, 1972) asumiendo un peso específico medio de 1,10 g/cm³ para *Chromatium* (Guerrero, Mas & Pedrós-Alió, 1984) y de 1,07 g/cm³ para *Chlorobium* (Doestch & Cook, 1973). El cálculo del volumen de *Cryptomonas* se realizó como la suma de una semiesfera y de un cono (Gasol, 1985).

El análisis cuantitativo de los pigmentos fotosintéticos se llevó a cabo filtrando un volumen de muestra y realizando un extracto en acetona al 90 %. Las concentraciones se calcularon a partir de espectro de absorción correspondiente (Montesinos, 1982).

El análisis de la actividad de oxidación de sulfhídrico en el campo se llevó a cabo tal y como lo describe Montesinos (1982). Se incubaron tres tipos de botellas: una transparente (actividad fotosintética), otra transparente conteniendo formaldehído al 4 % en concentración final (control muerto) y otra opaca (actividad no fotosintética). Conocidas las concentraciones iniciales y finales para cada profundidad y tratamiento se determinaba la actividad fotosintética, la biológica no fotosintética y la química en $\mu\text{mol/L/h}$.

RESULTADOS Y DISCUSION

La Figura 1 muestra los perfiles de la columna de agua correspondientes a los muestreos realizados en los meses de Abril y Agosto de 1985. Obsérvese que en primavera no se distinguía todavía la formación de una

Fig. 1.- Distribución de la conductividad (●—●), temperatura (○—○), porcentaje de luz respecto a la incidente en superficie (⊙—⊙), concentración de O₂ (x—x) y de H₂S (○—○), en la laguna del Vilar durante los meses de Abril y Agosto de 1985. / Vertical distribution of the conductivity (●—●), temperature (○—○), percentage of light incident at surface (⊙—⊙), O₂ (x—x) and H₂S (○—○) concentration in Lake Vilar on April and August, 1985.

Fig. 3.- Evolución de la concentración de sulfhídrico máxima (○—○) e integrada para la columna de agua (⊙—⊙) en la laguna del Vilar. / Changes in the maximal (○—○) and integrated (⊙—⊙) sulfide concentration in Lake Vilar.

quimioclina pese a que era patente la estratificación térmica, con un termoclina situada a los 3-5 m de profundidad y con un gradiente de temperatura de $1,25^{\circ}\text{C/m}$. En verano, lógicamente, la termoclina se mostró mucho más pronunciada ($3,5^{\circ}\text{C/m}$) y ubicada a los 4-5 m. El valor de la conductividad también aumentó, pero siempre dentro de los niveles que muestran el lago y lagunas de la zona (Abellà 1980, Guerrero et al. 1980), con la quimioclina ($5\ \mu\text{S/m}$) situada a los 3,5-5 m de profundidad.

La concentración de sulfhídrico en el agua dependerá tanto de la producción del mismo, a nivel de sedimento anaeróbico y monimolínion, como de su consumo, por oxidación biológica y química, además de su difusión. En primavera la concentración de este compuesto se mostró baja ($0,02\ \text{mmol/L}$), aumentando progresivamente tanto en extensión por éste ocupada como en concentración. En Agosto el máximo fue de $1,3\ \text{mmol/L}$ y se localizó a los 4,75 m disminuyendo con la profundidad, hacia las capas más próximas al sedimento.

El oxígeno estuvo presente en el epilimnion de la laguna durante el período estudiado, con máximos de $0,2-0,3\ \text{mmol/L}$ a los 4-5 m, en Abril, y a los 1-2 m en Agosto. En primavera se observó la coexistencia del oxígeno ($0,05-0,1\ \text{mmol/L}$) y del sulfhídrico ($0,02\ \text{mmol/L}$) a profundidades hipolimnéticas. En verano, con la anaerobiosis total del hipolimnion, dicha coexistencia quedó restringida sólo a nivel de termoclina, característica que debe relacionarse con el desarrollo de poblaciones de algas (Cryptomonas), productoras de oxígeno.

En presencia de gradientes físico-químicos las poblaciones fototróficas se distribuyen formando láminas. Dicha característica queda reflejada en el perfil de pigmentos fotosintéticos (Fig. 2) de la laguna del Vilar durante el mes de Agosto. Entre las profundidades de 4 y 5 m se desarrolló una potente lámina de bacterias rojas del azufre como lo demuestran los máximos de Bcl-a ($970-990\ \mu\text{g/L}$) detectados en estas cotas. Por debajo de este máximo se localizó otro, de inferior magnitud ($30\ \mu\text{g/L}$), correspondiente a Bcl-c (Chlorobium sp). Por otra parte, cabe destacar la presencia de un máximo de Cl-a ($75-120\ \mu\text{g/L}$) justo encima del correspondiente a Chromatium, en la interfase oxígeno-sulfhídrico y debido a la población de Cryptomonas allí establecida.

En esta época y con esta situación se determinó la actividad de oxidación de dicha lámina fototrófica. Se evaluó de la oxidación biológica (fotosintética y en la oscuridad) y química (por reacción con el oxígeno disuelto) como barrera a la difusión del sulfhídrico producido en la zona anaeróbica. La Tabla 1 resume la distribución vertical de la biomasa de cada una de las profundidades en las que se procedió. Los microorganismos dominantes en la comunidad eran Cryptomonas y Chromatium, en justa correspondencia con la distribución de pigmentos anteriormente comentada. Mientras el 45 % de la biomasa de Cryptomonas estaba situada a los 4,25 m de profundidad, en contacto con el oxígeno y con una baja concentración de sulfhídrico ($<0,01\ \text{mmol/L}$), Chromatium alcanzó el máximo en biomasa (45,8 %) justamente debajo, donde la concentración de sulfhídrico oscilaba entre 0,3 y $1,3\ \text{mmol/L}$.

La actividad de oxidación (o de producción) de sulfhídrico obtenida queda reflejada en la Tabla 2. Al cabo de 2 horas de incubación se obtuvo una oxidación neta de este compuesto en todas las profundidades, con la excepción de a 5 m, y siendo máxima a los 4,25 m. No obstante, si se analiza la actividad relativa a cada proceso, se observa que éstos manifestaron una dinámica diferente. Mientras que en todas las profundidades analizadas se obtuvo actividad de oxidación ligada a la luz, la relacionada con el oxígeno sólo se mostró efectiva hasta los 4,75 m. Por otra parte, en la oscuri

Tabla 1.- Distribución vertical de la biomasa de la comunidad fototrófica en la laguna del Vilar./ Vertical distribution of the phototrophic community in Lake Vilar.

Prof. (m)	Biomasa (g peso fresco/L)			
	Crypt. (%)	Chro. (%)	Chlo. (%)	Total
4,0	121,3 (99,18)	1,03 (0,22)	-	122,33
4,25	315,7 (82)	65,8 (17)	4,8 (1)	286,2
4,35	84,2 (32)	136,2 (61)	4,5 (2)	224,9
4,5	154,5 (61)	89,2 (35)	9,3 (4)	253
4,75	-	7,8 (44)	10,1 (56)	17,9

(-) no detectable/ not detected

Tabla 2.- Actividad de oxidación o de producción de sulfhídrico en la comunidad microbiana de la laguna del Vilar./ Sulfide oxidation or production activities in the microbial community in Lake Vilar.

Prof. (m)	Concentración inicial de H_2S ($\mu\text{mol/L}$)	Actividad fototrófica ($\mu\text{mol/L/h}$)	Actividad no fototrófica ($\mu\text{mol/L/h}$)	Actividad química ($\mu\text{mol/L/h}$)	Actividad neta ($\mu\text{mol/L/h}$)
4,25	0,843 ^a	-49	-15	-76	-140
4,35	0,330	-21	+7	-105	-119
4,50	1,29	-70	+8	-44	-107
4,75	1,27	-40	+55	-48	-23
5,0	0,807	-12	+12	0	0

(-) oxidación, (+) producción. (a) Complementado con 1 mL de Na_2S 90 mmol/L. La concentración inicial era de 0,123 mmol/L./ (-) oxidation, (+) production. (a) Amended with 1 mL of Na_2S 90 mmol/L. The initial concentration was 0,123 mmol/L.

Tabla 3.- Producción y/o consumo de oxígeno en la quimioclina de la laguna del Vilar./ Production and/or consumption of oxygen in the chemocline of Lake Vilar.

Prof. (m)	H_2S ($\mu\text{mol/L}$)	Cl-a ($\mu\text{g/L}$)	Bcl-a ($\mu\text{g/L}$)	Bcl-c ($\mu\text{g/L}$)	Luz ($\mu\text{Einst/m}^2/\text{s}$)	O_2 ($\mu\text{mol/L}$)		Actividad neta ($\mu\text{mol/L/h}$)
						inicial	final	
4,5	6	7,8	1,1	0	26,1	138	292	+77
5,0	767	44,8	59,8	0	11	123	200	+39
5,25	1800	25,5	58,2	4,4	6,3	70	0	-35

(-) consumo, (+) producción./ (-) consumption, (+) production

Tabla 4.- Cinética de oxidación de sulfhídrico y compuestos intermediarios producidos en una muestra de la comunidad microbiana de la laguna del Vilar. La incubación se realizó en el laboratorio a 28 °C y a 60 $\mu\text{Einst/m}^2/\text{s}$./ Kinetic of sulfide oxidation and intermediary compounds produced in a sample of the microbial community of Lake Vilar. Incubation was done in the laboratory, at 28 °C and 60 $\mu\text{Einst/m}^2/\text{s}$ of light intensity

Tiempo (h)	Concentración (mmol/L)				
	S^2	S^0	poli S^2	$S_2O_3^{2-}$	SO_4^{2-}
0	0,46	0,09	0,014	0	9,7
2	0,45	0,26	0,03	0	9,3
7	0,35	0,28	0,03	0,04	9,9
9	0,15	0,30	0,06	0,07	10,2

dad se obtuvo una producción neta de sulfhídrico sólo en las capas más profundas.

La máxima actividad de oxidación química se localizó a los 10 cm más próximos al epilímnion (105 $\mu\text{mol H}_2\text{S/L/h}$ a 4,35 m), mientras que la actividad de oxidación fotosintética presentó dos máximos: uno más superficial, a los 4,25 m (49 $\mu\text{mol H}_2\text{S/L/h}$) y otro, a 4,5 m de 70 $\mu\text{mol H}_2\text{S/L/h}$. Por otra parte, en el tratamiento opaco se registró un máximo en producción de sulfhídrico de 55 $\mu\text{mol/L/h}$ a la profundidad de 4,75 m.

Si se atiende a la distribución cuantitativa y cualitativa de la comunidad puede establecerse un paralelismo con la actividad registrada en la misma. Desde este punto de vista, la comunidad fototrófica puede dividirse en tres partes o zonas fundamentales.

La primera de ellas, o la zona superior, se localizaba a los 4,25 m, en estrecho contacto con el epilímnion y donde se hallaba la máxima biomasa de Cryptomonas. En esta zona la actividad de oxidación predominante era de carácter químico, por reacción con el oxígeno que difundiría del epilímnion, por microturbulencias, y también producido por la fotosíntesis de Cryptomonas. Ni la intensidad de luz (23 $\mu\text{Einst/m}^2/\text{s}$), ni la concentración de oxígeno (0,09 mmol/L) y de sulfhídrico (0,01 mmol/L) de esta zona, suponen una limitación a la actividad de Cryptomonas (Gasol, 1985).

La actividad de la zona intermedia (entre 4,35 y 4,5 m) debe atribuirse a la oxidación anaeróbica de Chromatium. Pese a que Cryptomonas coexistiese con Chromatium en esta zona, debe tenerse en cuenta que la actividad fotosintética del primero se encontraría muy reducida. En condiciones de laboratorio, Cryptomonas ve mermada la incorporación de carbono en un 93 % de su actividad máxima, cuando la concentración de sulfhídrico es de 0,6 mmol/L (Gasol 1985). Por lo cual es plausible atribuir a Chromatium la actividad de oxidación registrada en esta zona.

Respecto a la zona inferior de la capa (de 4,75 a 5,0 m), la actividad de oxidación fototrófica registrada fue mucho menor, probablemente debido a la limitación que supone la baja intensidad de luz incidente, siendo inferior a 0,3 $\mu\text{Einst/m}^2/\text{s}$ a los 4,75 m.

Globalmente, la actividad de oxidación de H_2S de la comunidad fototrófica correspondió a 68 mmol $\text{H}_2\text{S/m}^2/\text{h}$, de los cuales, y en principio, el 53,67 % fue debido a la reacción química con el oxígeno, el 44,12 % por actividad de oxidación biológica fotosintética, mientras que sólo el 2,33 % se debió a actividades biológicas independientes de la luz.

Las incubaciones de las muestras tratadas con formaldehído permitieron obtener la oxidación no biológica de sulfhídrico (oxígeno disuelto). Dado que una gran parte del oxígeno responsable de esta oxidación se debió a la actividad fotosintética de Cryptomonas previa al tratamiento, parte de la actividad de oxidación contabilizada como química, sería indirectamente fotosintética. En la Tabla 3 se exponen los resultados obtenidos después de 2 horas de incubación "in situ" de muestras de la capa de Cryptomonas de la laguna del Vilar. Obsérvese que la distribución de pigmentos fotosintéticos mostró una estratificación con la profundidad, pudiéndose distinguir una clara dominancia de este microorganismo en la zona superior. Se obtuvo una producción neta de oxígeno a los 4,5 m y 5,0 m, mientras que por debajo predominó el consumo. Estos resultados implican una producción de hasta 29 mmol $\text{O}_2/\text{L/h}$, por lo cual, la mayor parte de la actividad de oxidación química debe ser considerada como fotosintética.

De lo expuesto hasta aquí puede deducirse que la oxidación de sulfhídrico en la laguna del Vilar durante el período estudiado (mediodía) se debió, mayoritariamente, a la actividad fotosintética de la comunidad fototrófica. Ahora bien, la actividad de oxidación de sulfhídrico de una floración bacteriana, según demuestran Van Gernerden et al. (1985), es mínima por la mañana temprano y al atardecer, siendo máxima al mediodía. Teniendo en cuenta esta consideración, la actividad real de oxidación fotosintética diaria sería de $403 \text{ mmol H}_2\text{S/m}^2/\text{día}$ que junto con la oxidación biológica no fotosintética (de $18 \text{ mmol H}_2\text{S/m}^2/\text{día}$) supondrá un total de $421 \text{ mmol H}_2\text{S/m}^2/\text{día}$.

La acumulación de H_2S en la columna de agua es el resultado del balance entre la producción y consumo de dicho compuesto a lo largo del tiempo. La tasa de acumulación de H_2S en la laguna del Vilar es estimó a partir de la integración de las concentraciones obtenidas a lo largo del perfil vertical durante el período estudiado (Fig. 4). Desde Abril a Setiembre, se produjo una acumulación neta de H_2S de 2 moles/m^2 , lo cual supuso una tasa promedio diaria de $12 \text{ mmol H}_2\text{S/m}^2$. Si se considera la superficie total de la capa ananeróbica de la laguna del Vilar (2250 m^2), la tasa acumulación total fue de $27 \text{ moles H}_2\text{S/día}$. Aplicando el mismo criterio para la oxidación, atendiendo a la superficie que ocupaba la comunidad fototrófica, la tasa de oxidación total fue de $947 \text{ moles H}_2\text{S/día}$. A partir de estos valores se deduce que la producción diaria de H_2S de laguna del Vilar supuso una aportación de $974 \text{ moles H}_2\text{S/día}$.

Sin embargo, las incubaciones en la oscuridad mostraron una actividad de producción evaluada en $18 \text{ mmol H}_2\text{S/m}^2/\text{h}$. Teniendo en cuenta el área donde se localizaba la producción y que ésta es independiente de la luz, por tanto, activa durante las 24 horas del día, la aportación de sulfhídrico producido en el monimolimnion se cifraría en 940 moles/día . Se deduce, en consecuencia, que la aportación del sedimento anaeróbico será tan sólo de $34 \text{ moles H}_2\text{S/día}$. La superficie del sedimento potencialmente productor de sulfhídrico se estima en 2050 m^2 (datos no expuestos), lo que supone una actividad productora por unidad de superficie de sedimento anaeróbico cifrada en menos de $0,1 \text{ mmol/m}^2/\text{h}$, unas 180 veces menor que el valor correspondiente a la columna de agua.

Aquí la producción de sulfhídrico en la columna de agua se obtuvo a partir de la actividad que en este sentido mostraron las incubaciones en la oscuridad (vease Tabla 2). Se incluyen, por tanto, la actividad que desarrolla *Desulfovibrio*, por reducción de sulfato, y la de *Desulfuromonas*, con la reducción del azufre elemental (Pfennig & Biebl 1976, Biebl & Pfennig 1978). *Chromatium* en condiciones ananeróbicas y sin luz también puede producir H_2S . El azufre acumulado durante el período de fotosíntesis activa es utilizado, en la oscuridad, como aceptor final de electrones y reducido a sulfhídrico con la oxidación del glucógeno a poli-B-hidroxibutirato, con lo que se obtiene la energía suficiente para el mantenimiento de la viabilidad celular en dichas condiciones (Van Gernerden 1968). La contribución de cada uno de estos procesos en la producción de sulfhídrico en el agua se mantiene en la incógnita, siendo necesarias posteriores investigaciones para establecerla.

Cabe señalar que en el año 1979 (Abellà, 1980), con el uso de SO_4^{2-} , se obtuvo una producción de sulfhídrico en el agua equivalente a la reducción de $231 \text{ mmol SO}_4^{2-}/\text{m}^2/\text{día}$, mientras que durante 1985, con diferente metodología y por cálculos indirectos, se estimó una producción de $432 \text{ mmol H}_2\text{S/m}^2/\text{día}$.

Con los datos obtenidos se ha realizado un diagrama de flujos para

Fig. 2.- Distribución vertical de la concentración de Cl-a (○—○), Bcl-a (●—●), y Bcl-c (○—○) en la laguna del Vilar durante los meses de Abril y Agosto de 1985. / Vertical distribution of Chl-a (○—○), Bchl-a (●—●) and Bchl-c (○—○) in Lake Vilar on April and August, 1985

Fig. 4.- Diagrama del ciclo del azufre en la laguna del Vilar durante el verano de 1985. Se indican las concentraciones de los principales compuestos del azufre (moles) y sus diversas transformaciones (moles/día). / Diagram of the sulfur cycle in Lake Vilar during summer, 1985. The concentration of the different sulfur compounds (mol) and their transformations (mol/day) are also shown.

la laguna del Vilar durante el verano de 1985 (Fig. 4). La alta concentración de sulfato (globalmente de 4075 moles) responde a la alimentación subterránea de dicha laguna con agua rica en este compuesto. Su reducción, a nivel de sedimento anaeróbico, supuso una aportación global diaria de 34 moles de H_2S al pool de sulfhídrico existente en el hipolimnion (4095 moles).

La comunidad fototrófica existente fue la responsable del consumo de este sulfhídrico siendo oxidado principalmente a azufre y sulfato (Tabla 4). La actividad de Cryptomonas fue la más importante, cuantitativamente correspondió al 57 % de la actividad oxidativa global. La oxidación anaeróbica de Chromatium representó el 41 % de la misma. El resto (4 %) se debió a la actividad de oxidación no fotosintética. El producto final de esta actividad fue el azufre, cuya reserva en el agua se cuantificó en 261 moles. También se detectaron otros compuestos oxidados como tiosulfato y polisulfuros, pero sólo representaron, en conjunto, el 3 % del total.

El hecho de que la reserva de azufre fuera muy inferior a la esperada en correspondencia con el sulfhídrico oxidado, se debió probablemente a que parte del S^0 apareció en superficie en forma de una fina película de color blanco, o fuese oxidado simultáneamente a sulfato. La oxidación de sulfhídrico por Chromatium supone una acumulación intracelular del azufre producido que es oxidado, simultáneamente, a sulfato. Por otra parte, la pérdida de viabilidad de las células supone una sedimentación de parte del azufre acumulado. Por tanto, por una u otra causa, la carga de azufre del agua puede disminuir.

Finalmente, la actividad de producción de sulfhídrico en el agua, sea por reducción de sulfato o de azufre, supone la aportación mayoritaria de este compuesto.

Estudios anteriores (Ylla 1981) relativos a la actividad de reducción de sulfato en el sedimento de la misma laguna y realizados en el 1979, indicaban una aportación diaria de $750 \text{ mmol } H_2S/m^2$, valor muy superior al correspondiente al año 1985. Aunque la metodología usada aquí es diferente, la producción global de sulfhídrico en el 1985 es menor (974 moles/día) a la correspondiente al 1979 (1720 moles/día). Esta diferencia explica perfectamente por qué durante el período 1978-79 la concentración promedio de sulfhídrico fue de 3 a 10 mmol/L mientras que en verano del 1985 sólo oscilaba entre 0,2 y 2 mmol/L. Básicamente la razón de esta disminución es atribuible a la restricción, en el tiempo, de la anaerobiosis del hipolimnion por la disrupción temporal de la meromixis y al cambio de la composición de la comunidad fototrófica. Mientras en el 1978-79 ésta estaba formada, mayoritariamente, por Chlorobium (Abellà, 1980), en el verano de 1985 Cryptomonas y Chromatium fueron los microorganismos fototróficos dominantes.

BIBLIOGRAFIA

- ABELLÀ, C. 1980. Dinámica poblacional comparada de bacterias fotosintéticas planctónicas. **Tesis Doctoral**. Universidad Autónoma de Barcelona.
- BARTLETT, J. K. & D. A. SKOOG. 1954. Colorimetric determination of elemental sulfur in hydrocarbons. **Anal. Chem.**, 26:1003-1011
- BIEBL, M. & N. PFENNIG. 1978. Growth yields of green sulfur bacteria in mixed cultures with sulfur and sulfate reducing bacteria. **Arch. Microbiol.**, 117:9-16

- DOESTCH, R. N. & T. M. COOK. 1973. **Introduction to bacteria and their ecology**. Medical and Technical Pub. Co., Lancaster (University Park Press, Baltimore)
- GASOL, J. M. 1985. La comunitat microbiana de l'estanyol d'en Císó. Autoecologia d'una floració metalimnètica de Cryptomonas sp. **Tesina de Licenciatura**. Universidad Autónoma de Barcelona.
- GARCIA DE EMILIANI, M. O. 1973. Fitoplancton de la laguna del Vilà (Gerona, España). **Oecol. Aquatica**, 1:107-155
- GUERRERO, R., E. MONTESINOS, I. ESTEVE & C. ABELLÀ. 1980. Physiological adaptation and growth of purple and green sulfur bacteria in a meromictic lake (Vilà) as compared to holomictic lake (Sísó). En Bokuli M., H. Metz & D. Jewson (eds.). Shallow lakes, contribution to their limnology. **Develop. in Microbiol.**, 3:161-171
- GUERRERO, R., J. MAS & C. PEDRÓ-ALIÓ. 1984. Buoyant density changes due to intracellular content of sulfur in Chromatium warmingi and Chromatium minus. **Arch. Microbiol.**, 137:350-356
- INGVORSEN, K. & B. B. JORGENSEN. 1979. Combined measurement of oxygen and sulfide in water samples. **Limnol. Oceanog.**, 24:390-393
- MONTESINOS, E. 1982. Ecofisiologia de bacterias fototróficas. **Tesis Doctoral**. Universidad Autónoma de Barcelona.
- MONTESINOS, E., R. GUERRERO & C. ABELLÀ. 1983. Ecology and physiology of the competition for light between Chlorobium limicola and Chlorobium phaeobacteroides in natural habitats. **Appl. Environ. Microbiology**, 5:1007-1016
- PFENNIG, N. & M. BIEBL. 1976. Desulfuromonas acetoxidans ge. nov. and sp. nov. a new anaerobic, sulfur-reducing, acetat-oxidizing bacterium. **Arch. Microbiol.**, 110:3-12
- STEINMETZ, N. A. & U. FISCHER. 1982. Cytochromes of the green sulfur bacterium Chlorobium vibrioforme f. thiosulfatophilum: purification, characterization and sulfur metabolism. **Arch. Microbiol.**, 131:19-26
- TABATABAI, M. A. 1974. A rapid method for determination sulfate in water samples. **Environ. Lett.**, 7:227-243
- VAN GEMERDEN, H. 1968. On the ATP generation of Chromatium in darkness. **Arch. Microbiol.**, 61:118-121
- VAN GEMERDEN, H., E. MONTESINOS, J. MAS & R. GUERRERO. 1985. Diel cycle of metabolism of phototrophic purple sulfur bacteria in lake Císó (Spain). **Limnol. Oceanog.**, 30:932-943
- YLLA, J. 1981. Activitat reductora de sulfat en els sediments anaeròbics de la zona càrstica de Banyoles. **Tesina de Licenciatura**. Universidad Autónoma de Barcelona.
- ZIMMERMANN, R. & L. A. MEYER-RIEL. 1974. A new method for fluorescence staining of bacterial populations on membrane filters. **Keeler Meeresforschung**, 30:24-27